

溶接欠陥付与試験体の作製について

溝 豊 *

Mizo Yutaka

溶接欠陥付与試験体は高精度の検査を行うための対比試験片として使用されており、作製のニーズが多い。ここでは、溶接割れや融合不良、ブローホール等、自然欠陥および自然欠陥に近い溶接欠陥を導入する溶接欠陥付与試験体の製作について述べる。

キーワード：溶接欠陥、欠陥付与、溶込み不良、割れ、ブローホール、融合不良

1. はじめに

溶接は船舶、車両、压力容器、建築鉄骨、橋梁などの各種構造物や各種機械の製作には必要不可欠な基盤技術である。しかし、割れなどの問題が生じることがあり、時には重大な事故につながる可能性があるため溶接部の品質管理は非常に重要となる。非破壊検査は品質管理の基となる技術であり、溶接欠陥付与試験体はより高精度の検査を行うために必要であることから作製のニーズが多い。ここでは、溶接欠陥付与試験体の製作方法の一例を紹介する。

2. 溶接欠陥の種類

図1に溶接欠陥の例⁽¹⁾を示す。欠陥の種類としては、溶込み不良、割れ、気孔（ブローホール）、融合不良、スラグ巻き込み、溶落ち、垂れ込み、アンダカットおよびオーバラップ等である。この中でアンダカットやオーバラップは構造物の疲労強度を大きく低下させる欠陥であるが目視により容易に検出できる。しかし、内在する割れや溶込み不良、融合不良、スラグ巻き込み等は目視では検出

できず、これらの欠陥を起点として大きな破壊に至る危険性があるため、放射線透過試験（RT）および超音波探傷法（UT）等の非破壊検査が適用される。

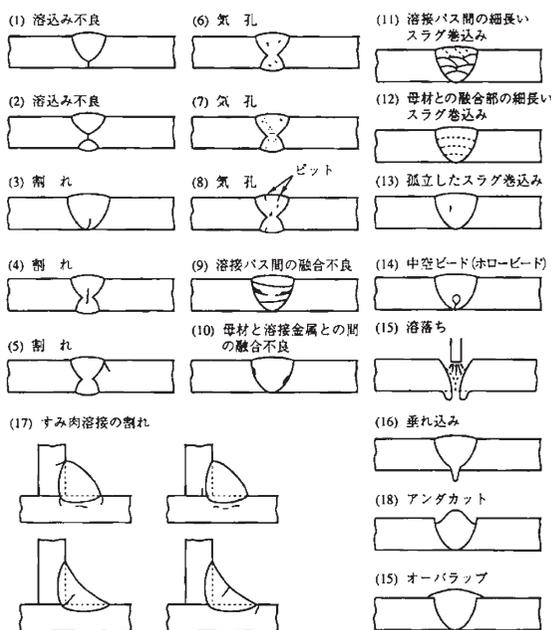


図1 溶接欠陥の例
(溶接学会編「新版溶接・接合技術特論」P373)

* 研究開発事業部 生産技術部 部長

一方、非破壊検査で使用する対比試験片は EDM ノッチ (Electronic discharge machining : 放電加工) やドリル孔を欠陥として模擬しているため、検出性に実際の割れとの違いが出てくる場合があることから、自然欠陥に近い溶接欠陥を付与した試験体製作のニーズが多い。

3. 溶接欠陥付与試験体の製作方法

3.1 炭素鋼への欠陥付与

3.1.1 融合不良の導入

表 1 に融合不良をビード表面に導入するための代表的な手順を示す。始めに、決められた材質、溶接法、継手形状、開先形状に対して適正な施工により試験体を作製し、RT により本溶接試験体の健全性を確認する。その後、次の順で作成する。

- ①融合不良を導入する部位に肉盛溶接し欠陥導入時の壁を設ける。
- ②グラインダ等により融合不良の目標深さまで舟形に削り取り、融合不良の深さを決める。
- ③融合不良を導入する壁を溶かさずに溶接で埋める。

- ④肉盛下部分をビード面まで削ることにより融合不良を形成。
- ⑤融合不良の長さを確定するために余分な融合不良を半円形に削り取る。この時点で浸透探傷検査 (PT) により融合不良の深さを確認する。
- ⑥融合不良の長さと同様に削り取った部分の埋め戻し溶接の溶込みを考慮することにより目的とした長さを得ることができる。

図 2 に融合不良の長さ確定のための PT 検査状況と導入完了後の RT 検査状況を示す。

3.1.2 融合不良から疲労き裂を導入

前項では表面に開口した融合不良の導入方法を述べたが、溶接構造物においては 2 項で述べたように、融合不良やスラグ巻き込み等の内部欠陥から疲労き裂が発生する場合がある。表 1 の手順で導

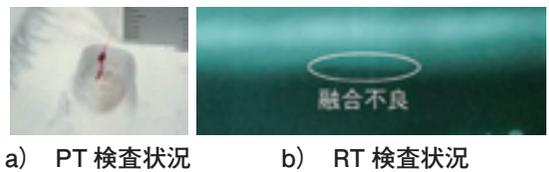


図 2 融合不良の長さ確定のための PT 検査状況と導入後の RT 検査状況

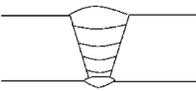
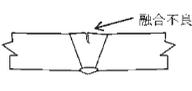
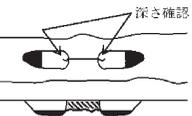
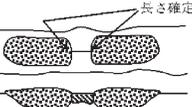
施工順序	実施内容	図示例	施工順序	実施内容	図示例
1	本溶接		5	欠陥導入	
2	肉盛溶接		6	欠陥深さ確認および長さ確認のための両端部の掘込み	
3	欠陥導入部グラインダ研削		7	長さ確定のための溶接	
4	融合不良導入溶接		--	--	--

表 1 融合不良をビード表面に導入するための代表的な手順

入した融合不良の表面を溶接で覆って、疲労試験機で割れを表面に進展させることにより実際に近い疲労き裂を導入できる。図3に疲労き裂のSUMP（レプリカ）で現出したマイクロ組織を示す。

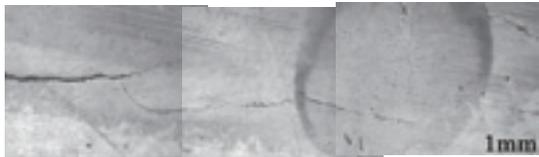


図3 疲労き裂のSUMPによるマイクロ組織

3.1.3 ブローホールの導入

表2にブローホールを溶接金属内に導入するための代表的な手順を示す。始めの手順は融合不良の導入と同様に、適正な施工により試験体を作製し、RTにより本溶接試験体の健全性を確認する。

その後、ブローホールを導入する部位をグラインダ等により目標深さに舟形に削り取る。次にブローホール発生条件で溶接する。目標値より多く発生した場合はグラインダにより除去した後、開先面まで溶接で埋める。図4にブローホール発生条件で溶接したビードのPT検査状況と導入完了後のRT検査状況を示す。

表2 ブローホールの導入手順

施工順序	実施内容	図示例
1	本溶接	
2	欠陥導入部 グラインダ 研削	
3	ブローホールの 導入	
4	ブローホールの 埋め込み 溶接	



図4 ブローホール発生部のPTおよび導入完了後のRT検査状況

一方、ブローホールの導入で難しいのは、例えばブローホール1個を導入する等、目標とする大きさや数を確定できないことであり、多い少ない程度の管理しかできない。しかし、非破壊検査においてはブローホールのサイズと数を確定した試験体製作の要求も多い。この場合はセラミック球を溶接部に埋めこむ方法がある。図5は溶接部にセラミックス球を埋めこむ手順の一例であり、埋込み位置、大きさ、数などが目標通りに設定できるメリットがある。図6はセラミックス球を埋めこんだ継ぎ手のRT検査状況である。2mm程度の塊状欠陥が1個確認できる。



図5 継ぎ手へのセラミックス球埋込み手順の一例

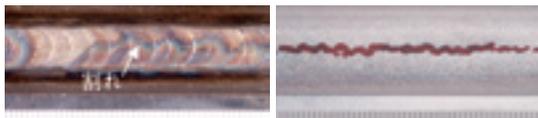


図6 セラミックス球を埋めこんだ継ぎ手のRT検査状況

3.1.4 溶接割れの導入

図7はJIS Z3157のU形溶接割れ試験に準じた方法で割れを発生させたもので、母材および溶加棒には低合金鋼を使用した。母材や溶加棒の強度が高く溶加棒の供給量が少ないほど割れやすい。

割れの導入手順は始めにスリットを有する開先を準備し、所定の部位に割れを導入後、所定の溶接で仕上げる方法となる。



a) 割れ b) PT 検査状況

図7 割れおよびPT検査状況

3.2 ステンレス鋼への欠陥付与

3.2.1 応力腐食割れ (SCC) の導入

オーステナイト系ステンレス鋼は原子力発電用設備や化学プラント等においてSCCが発生することがある。SCCは環境および温度を設定できるオートクレーブや高濃度塩化物および酸性薬品で導入する。図8にオートクレーブでの作業状況および高濃度塩化物試験設備を示す。

これらの導入方法は多くの要員が必要であり、割れが過度に出たりあるいは全く出なかったりして試験体も余分に必要となる。

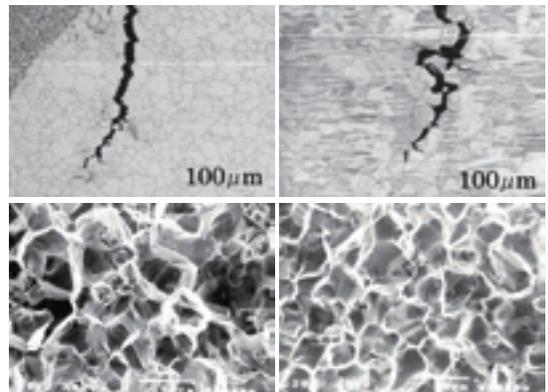


a) オートクレーブ作業状況 b) 高濃度塩化物試験設備

図8 オートクレーブでの作業状況および高濃度塩化物試験設備

3.2.2 SCC 模擬試験体の製作

SCCは溶接境界部の母材側の鋭敏化領域で発生し、主には粒界を進展する。これと類似した割れとしては、亜鉛による低融点金属割れ^{(2),(3)}がある。図9にSUS304ステンレス鋼のSCC材と亜鉛脆化材のマイクロ組織およびSEM(走査型電子顕微鏡)破面を示す。金属組織としては、SCC

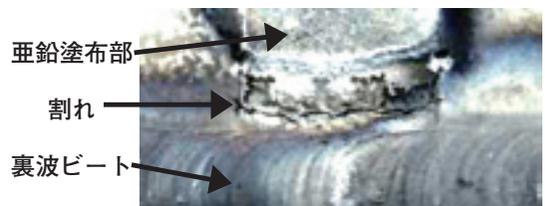


a) SCC材 b) 亜鉛脆化材

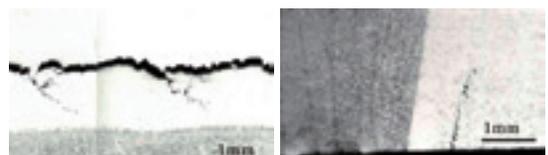
図9 SCC材と亜鉛脆化材のマイクロ組織およびSEM破面

材の粒界は鋭敏化した溝状組織であるが亜鉛脆化材は鋭敏化していない段状組織という違いはあるが、割れの発生位置や進展経路および破面状態はほとんど同じであることがわかる。

図10にSUS304ステンレス鋼突合せ溶接部裏波側への亜鉛脆化による割れの導入例を示す。亜鉛の塗布量が多くなりすぎると溶接金属にも割れが発生するので、塗布量は膜厚計で管理する。割れの幅、深さは亜鉛の塗布範囲と塗布量でほぼ決まり、目的の割れが導入できる。



a) 溶接後の割れ発生状況

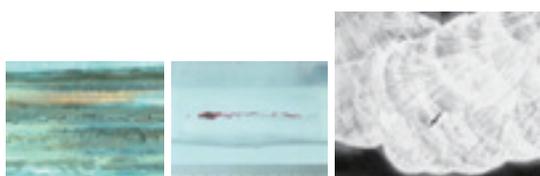


b) 表面のマイクロ組織 c) 断面マイクロ組織

図10 亜鉛脆化による割れの導入例

3.3 Ni 合金溶接金属への割れ付与

LNG タンクに使用されている 9%Ni 鋼の溶接にはインコネル系やハステロイ系の溶接材料が使用される。溶接継ぎ手に対して高い品質が要求されるため、溶接部には UT や RT およびリーク試験等が課される。このような Ni 合金への割れは前述した亜鉛脆化では付与できないため、割れ発生溶接条件により導入する。図 11 は Ni 合金溶接金属に割れを付与した状況であり、所定の位置、長さ、深さをある程度の精度で付与できる。



a) 割れ発生状況 b) PT 検査状況 c) ミクロ組織

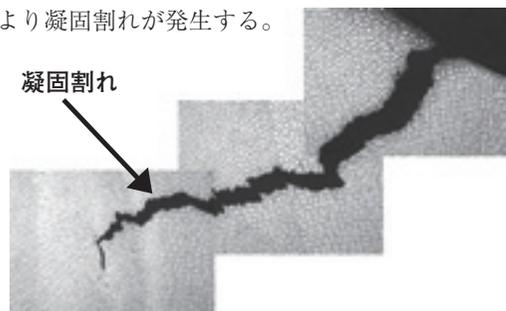
図 11 Ni 合金溶接金属への割れ付与状況

4. 各種材料の割れサンプルの提案

炭素鋼については、融合不良、ブローホール、疲労き裂等の欠陥付与の要求が多く、ステンレス鋼については SCC の要求が多いがこの他にも各種の欠陥が発生する。このような欠陥についても溶接欠陥付与試験体への導入が可能と思われる。

4.1 SUS304 に SUS310 や Ni 合金系溶接材料を使用した場合の高温割れ⁽⁴⁾

当該継ぎ手の溶接金属は完全オーステナイト組織となり、SUS304 からの P、S 等の不純物の混入により凝固割れが発生する。



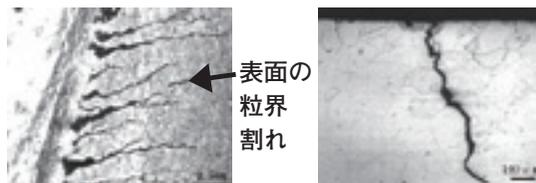
4.2 Y309 の高温割れ⁽⁵⁾

炭素鋼への肉盛溶接で高電流を使用した場合、母材成分が過度に希釈し、これに伴い溶接金属のフェライトが低下するために凝固割れが発生する。



4.3 高 S 材の粒界割れ

高 S の SUS 材を高入熱で溶接した場合は溶接熱影響部に粒界割れが発生する。



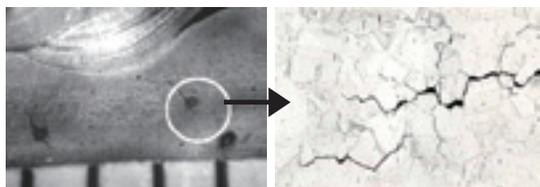
4.4 多層溶接の再熱割れ

完全オーステナイト系ステンレス鋼および Ni 合金等の多層溶接で肉を薄く積層した場合は再熱割れが発生する。



4.5 銅の付着による SUS304 の低融点金属割れ

銅を含む金属粉が溶接境界部直近の母材に付着した場合、微小な粒界割れが発生する。

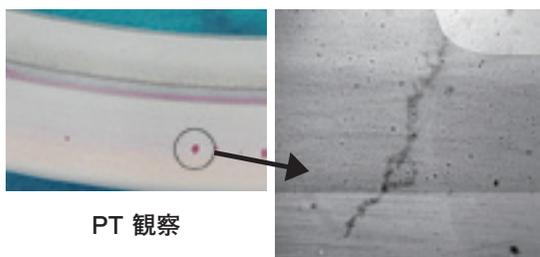


実体顕微鏡観察

表面ミクロ

4.6 銅の浸透割れ⁽⁶⁾

炭素鋼に銅および銅合金を溶接する場合は溶接境界部に接する炭素鋼母材に銅が浸透し、溶接後に機械加工および曲げ等を行った場合は割れが発生する。



PT 観察

UUMT 観察状況

5. まとめ

ここでは溶接欠陥の付与方法について述べた。前述したように、炭素鋼については融合不良、ブローホール、疲労き裂、溶接割れ等の欠陥付与の要求が多く、ステンレス鋼については SCC の要求が多い。しかし、割れも多種多様であり上記以外の欠陥も付与可能と思われる。欠陥付与試験体は主には非破壊検査手法の選定や、検査技量の訓練および認証に使用される。EDM ノッチやドリ

ル孔と異なり、溶接による欠陥付与は溶接の溶込み等で欠陥の長さや深さが変わるため 1mm から 2mm 程度の誤差は発生する。従って、使用後は欠陥の破面出しを行い、正確な寸法を把握する等の検証が必要と思われる。

参考文献

- (1) 溶接学会編「新版溶接・接合技術特論」p.373
- (2) (社)日本溶接協会 化学機械溶接研究委員会 “ステンレス鋼の亜鉛脆化について”(1994)
- (3) 川嶋他、“亜鉛メッキおよび亜鉛含有塗料による鋼材の脆化” 石川島播磨技報第 21 巻 第 3 号 (1981-5)
- (4) 深川他、“ステンレス鋼へのインコネル肉盛溶接において発生する割れ” 石川島播磨技報第 22 巻 第 4 号 (1987-7)
- (5) 新成夫 “異種金属の溶接における問題点”
- (6) 大前他、“銅と銅合金の溶接” 溶接技術 (1986-2)



研究開発事業部
生産技術部 部長
溝 豊
TEL. 045-759-2120
FAX. 045-759-2155